

А. Н. ТКАЧУК, асп. каф. ДПМ НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ТЕЛ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ

У статті на прикладі реальних конструкцій поставлена та розв'язана задача розробки методів, моделей та алгоритмів для моделювання контактної взаємодії системи тіл при складному навантаженні. Досліджена реакція елементів конструкції на три послідовно діючі силові фактори. Створено множину параметричних моделей та програмне середовище для проведення комплексу досліджень прес-форм.

In the paper the task of development of methods, models and algorithms is set and solved for the modeling of contact interaction of system of bodies at difficult loading on the example of the real constructions. The reaction of elements of construction on three consistently operating power factors is researched. The set of parametrical models and software environment are created for conducting of complex of press-forms researches.

Введение. В работах [1-7] описана общая постановка задачи о термоупругом контакте системы взаимодействующих тел. На основе вариационного подхода исходная нелинейная краевая задача приводится к вариационному неравенству. Описана дискретизация задачи на основе метода конечных элементов (МКЭ). Решены некоторые тестовые задачи. В то же время разработанные методы и модели не могут напрямую быть применены для решения конкретной прикладной задачи, поскольку отсутствует специализированная программно-модельная среда. Проблема создания такой среды на примере исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов пресс-форм (ПФ) с учетом контактного взаимодействия является предметом рассмотрения в данной статье.

Структура специализированного программно-модельного комплекса (СПМК). Как отмечалось выше, само по себе решение единичной термоупругой контактной задачи для системы взаимодействующих тел, представляя существенный интерес для механики, нуждается в инструментальной реализации для использования в промышленности. Речь идет о создании удобного инструмента для исследования НДС того или иного класса машин, механизмов или оборудования с учетом контактного взаимодействия элементов, который может быть использован не только высококвалифицированными исследователем, но и конструктором, технологом или эксплуатационником в КБ или на заводе. При этом к данному СПМК предъявляются следующие требования:

- возможность широкого варьирования конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров исследуемого объекта;
- автоматизация создания конечно-элементных моделей (КЭМ) исследуемой системы взаимодействующих тел и возможность управления конечно-элементной разбивкой;
- полноточность, т.е. моделирование всех значимых сторон

исследуемого физико-механического процесса;

- удобный постпроцессинг с расширенными возможностями, т.е. способность обрабатывать не только результаты единичного расчета, но и целого их множества;

- открытость структуры, т.е. возможность ее изменения и пополнения при изменении объекта исследований или состава значимых факторов.

Соответственно, для удовлетворения этим требованиям из множества возможных решений задачи был выбран вариант, структурно состоящий из следующих компонент:

- модуль создания параметрических геометрических и конечно-элементных моделей исследуемых объектов;
- модуль задания нагрузки и граничных условий;
- модуль формирования баз данных и постпроцессинга;
- интерфейсный модуль.

Данные структурные единицы могут быть для разных задач реализованы в различных программных средах, выбор которых определяется спецификой исследуемого объекта, требованиями возникающей задачи и потенциальными возможностями того или иного программного комплекса.

Специализированные программно-модельные комплексы для исследования напряженно-деформированного состояния элементов пресс-форм. Одним из наиболее распространенных и ярких объектов для демонстрации возможностей предложенной технологии моделирования термоупругого контакта являются ПФ для оснащения термопластавтоматов. При их проектировании требуется обеспечить: прочность элементов пресс-форм, поскольку величина давления впрыска металла расплава в формирующие полости может достигать сотен МПа, а усилие закрытия – сотен тонн; жесткость элементов ПФ, особенно в зоне стыка по области разъема полу матриц, т.к. локальное раскрытие стыка может привести к появлению облоя (брака изделия); отсутствие резких неравномерностей распределения контактного давления, которое может привести к локальному пластическому деформированию областей сопряжения отдельных элементов ПФ и, как следствие, потере работоспособности.

Для решения описанной задачи с удовлетворением сформулированных требований предложен специализированный программно-модельный комплекс, созданный с привлечением универсальной системы конечно-

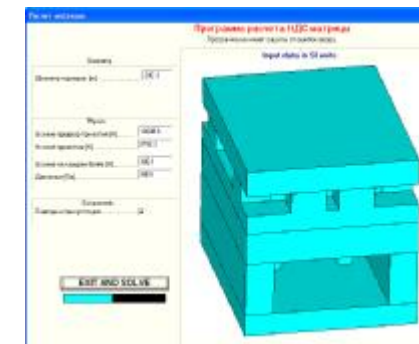


Рис. 1. Вид одного из интерфейсных окон СПМК

элементного моделирования ANSYS (в ней создаются геометрические и конечно-элементные модели); язык APDL служит для написания командных макросов, управляющих параметрами созданных моделей, а также задания и изменения нагрузок; программные модули на языке Delphi служат интерфейсной оболочкой, управляющей и координирующей выполнение исследований; базы данных в форматах ANSYS и Excel служат для хранения и обработки результатов расчетов. На рис. 1-3 приведены иллюстрации функционирования данного СПМК (на примере пресс-формы), описанной в [1].

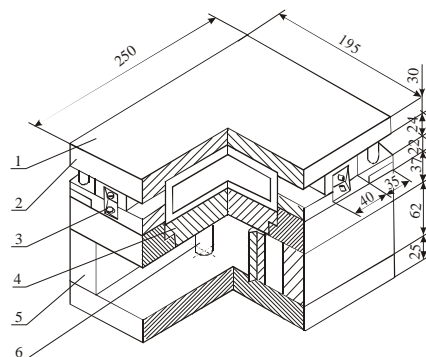


Рис. 2. Параметрические геометрические модели пресс-форм:

- 1 – матрица;
- 2 – верхняя плита;
- 3 – винты для крепления формирующей вставки;
- 4 – подкладная плита;

- 5 – опоры;
- 6 – дополнительные опоры

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния элементов пресс-форм. В качестве основных силовых факторов, воздействующих на элементы исследуемой ПФ [1], выступают усилия обжатия по-



Рис. 3. Параметрические конечно-элементные модели пресс-форм, созданные в СПМК

луматриц винтами, закрепленными в обойме (усилия T); усилия закрытия ПФ P_3 ; давление впрыска расплава (p) и температурный нагрев элементов пресс-форм. В силу невысокого уровня температурных деформаций (нагрев – в пределах 120°C - 180°C) основное внимание было сосредоточено на первых трех факторах. Соответственно, при решении задачи исследуются 3 этапа приложения нагрузки. Их диапазон для данного случая: $T = 0 \div 30$ кН, $P_3 = 0 \div 1$ МН и $p = 0 \div 10$ МПа. Кроме того, исследуется влияние наличия, количества и схема расположения промежуточных опор на НДС полуматриц и других элементов ПФ. В данном случае в средней части пресс-формы размещаются 2 опоры диаметром 0 (отсутствуют) $\div 60$ мм.

В качестве контролируемых параметров выступают перемещения некоторых точек в сопряжении полуматриц (рис. 4). На рис. 5 представлены характерные распределения компонент НДС элементов ПФ. На рис. 6 – примеры изменения контролируемых величин в процессе нагружения.

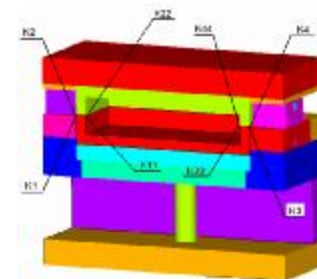


Рис. 4. Схема расположения контролируемых точек пресс-формы

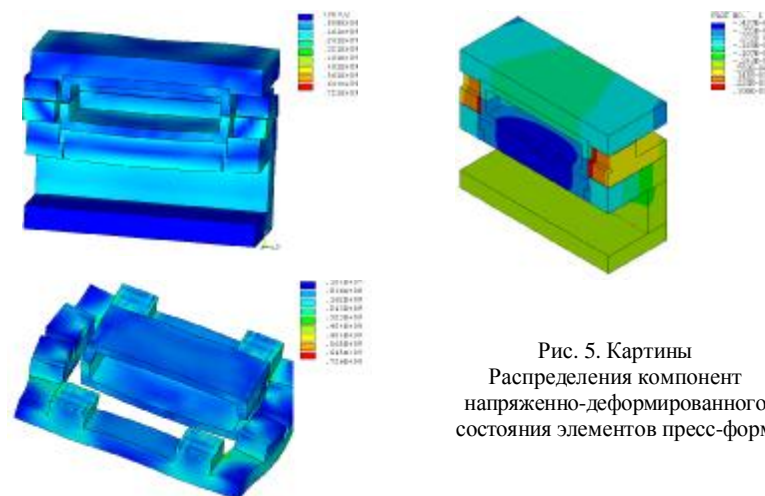


Рис. 5. Картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния элементов пресс-форм

Качественный анализ картин деформирования и компонент НДС элементов пресс-форм (см. рис. 5) позволяет выделить следующие особенности:

- осевые (нормальные) перемещения точек полуматриц, с одной стороны, и подкладных плит, с другой, являются согласованными по поверхностям их сопряжения, т.е. между ними не возникает зазоров;

- боковые (тангенциальные) перемещения точек полуматриц (верхней и нижней), терпят разрывы вдоль плоскости разреза;
- наличие и размеры промежуточных опор (из рассмотренного диапазона) слабо влияют на характер деформирования полуматриц пресс-форм;
- по плоскости разреза полуматриц в средней части между боковыми опорами возникают зоны отрыва (происходит локальное раскрытие стыка), что может приводить к образованию облоя.

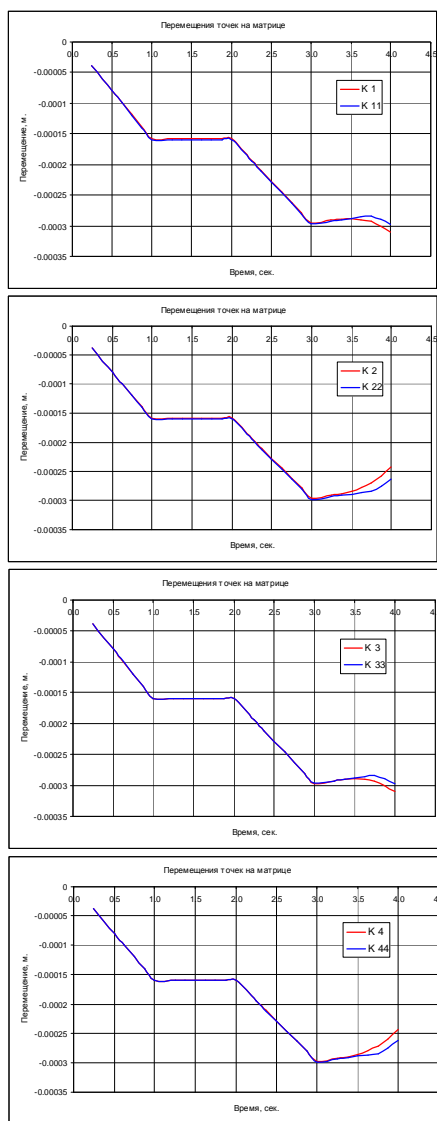


Рис. 6. Примеры изменения контролируемых величин в процессе нагружения

Количественный анализ графиков измерений контролируемых параметров (см. рис. 6) дает основание утверждать, что вертикальные перемещения всех точек полуматриц ведут себя идентично: осадка вниз примерно на 300 мкм от действия усилий обжатия и закрытия ПФ, а затем только незначительные изменения вертикальных перемещений (до 50 мкм) от действия давления впрыска материала с образованием локальных зазоров (размер в разных местах различный, максимальный – на уровне 50 мкм).

Заключение. Описанный в работе специализированный программно-модельный комплекс для исследования НДС элементов пресс-форм с учетом контактного взаимодействия продемонстрировал работоспособность, эффективность, оперативность при проведении многочисленных расчетов. При этом никаких существенно упрощающих гипотез ни в конечно-элементную модель, ни в условия нагружения и сопряжения, ни в геометрию элементов пресс-форм внесено не было, т.е. задача решалась на том же уровне строгости, что и модельная [4,

8]. Эта особенность является достаточно важным качественным фактором, позволяющим использовать созданный программно-модельный комплекс как инструмент исследований, соединяющий одновременно высокую адекватность моделей и точность результатов с простотой применения и высокой скоростью моделирования.

В качестве направлений дальнейших исследований планируется проведение подробного сравнения результатов численных исследований с данными экспериментальных измерений.

Список литературы. 1. Храмова И.Я., Ткачук А.Н., Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Орлов Е.А., Четурной А.Д. Специализированная система анализа и синтеза и расчетно-экспериментальное исследование элементов пресс-форм // Вісник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машинознавство та САПР”. – 2005. – № 60. – С.151-178. 2. Демина Н.А., Назарова О.П., Ткачук А.Н. Контактное взаимодействие в сопряжении „пуансон – матрица – заготовка” // Вісник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машинознавство та САПР”. – 2007. – № 23. – С.39-48. 3. Ткачук А.Н. Исследования термоупругих контактных задач элементов пресс-форм для литья под давлением с учетом фазовых превращений в отливке // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2008. – Вып. 2. – С.144-158. 4. Ткачук А.Н. Численное решение тестовых термоупругих контактных задач для элементов пресс-форм // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2008. – Вып. 9. – С.118-124. 5. Ткачук Н.А., Грищенко Г.Д., Ткачук А.Н., А.В. Бондаренко, Бруль С.Т. Расчетно-экспериментальное обоснование параметров численных моделей элементов механических систем // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2008. – Вып. 14. – С.117-125. 6. Ткачук Н.А., Мовшиович А.Я., Ткачук А.Н. Технологические системы холоднолистовой штамповки: к вопросу обоснования расчетных схем элементов разделительных штампов // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2008. – Вып. 14. – С.126-140. 7. Ткачук А. Н., Ткачук Н.А., Заболотских В.А., Канустин А.А. Методы, алгоритмы и модели для исследования физико-механических процессов при изготовлении деталей литьем // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2009. – Вып. 12. – С.129-148. 8. Ткачук Н.А., Мовшиович И.Я., Ткачук А.Н. Элементы разделительных штампов: методы и модели для исследования напряженно-деформированного состояния // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2009. – № 2. – С. 16-25.

Поступила в редакцию 12.03.2009

УДК 534.1

Б.В. УСПЕНСКИЙ, асп. НТУ“ХПИ”,
К.В. АВРАМОВ, докт. техн. наук, ИПМаш НАН Украины, г. Харьков

КОЛЕБАНИЯ ОДНОДИСКОВОГО РОТОРА С ОДНОЙ УПРУГОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПОРОЙ

У статті отримано математичну модель коливань однодискового ротора на одній пружній опорі з урахуванням гіроскопічних моментів, що діють на диск. Проведено дослідження цієї моделі з застосуванням апарату асимптотичного аналізу. Виявлено нелінійний ефект в усталеному режимі коливань ротора.